

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана физического факультета МГУ,
профессор, д.ф.-м.н.



/ В.В. Белокуров /

« 21 » марта 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Высокомолекулярные соединения

High-molecular-weight compounds

Программа (программы) подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Высокомолекулярные соединения
(103-01-00-147-фмн)

Москва 2024

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Приказом по МГУ от 24 ноября 2021 года № 1216 «Об утверждении Требований к основным программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, самостоятельно устанавливаемых Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова».

1. Краткая аннотация:

Название дисциплины: Высокомолекулярные соединения.

Цель изучения дисциплины – расширение и углубление знаний о современном состоянии и тенденциях развития в области высокомолекулярных соединений.

2. Уровень высшего образования - подготовка кадров высшей квалификации.

3. Научная специальность: 1.4.7 Высокомолекулярные соединения; область науки: естественные науки.

4. Место дисциплины (модуля) в структуре Программы аспирантуры: дисциплины (модули), направленные на подготовку к кандидатским экзаменам - Дисциплина, совпадающая с наименованием научной специальности.

5. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 54 часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (50 часов занятия лекционного типа, 4 часов мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 54 часа составляет самостоятельная работа учащегося.

6. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Необходимы знания высшей математики и общей физики в объеме курсов, преподаваемых на физических специальностях классических университетов, полученных на предыдущих уровнях высшего образования.

7. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка к коллоквиумам	Всего
Тема 1. Классические методы полимеризации (Почему полимеризация термодинамически выгодна? Термодинамические характеристики полимеризации. Активные центры: радикалы и ионы, и их происхождение. Механизм и стадии радикальной полимеризации. Преимущества и недостатки радикальной полимеризации. Ее применение в промышленности. Механизм и стадии катионной полимеризации. Преимущества и недостатки катионной полимеризации. Ее применение в	18	9					9	9		9

промышленности. Полимеризация изобутилена. Механизм и стадии анионной полимеризации. Особенности инициирования при анионной полимеризации и их влияние на длину полимерных цепей. Реакции на «живущих» цепях и их использование. Преимущества и недостатки анионной полимеризации. Ее применение в промышленности. Координационно-ионная полимеризация и ее механизмы. Применение координационно-ионной полимеризации в промышленности.)										
Тема 2. Методы контролируемой радикальной полимеризации (Недостатки классической радикальной полимеризации и возможности их устранения. Контроль реакций передачи и обрыва цепей. Полимеризация с обратимой передачей цепи по механизму присоединения–фрагментации, ее механизм и стадии. Сравнение с анионной полимеризацией. Типы агентов передачи цепи и критерии их выбора. Особенности полимеризации активных и малоактивных мономеров.	18	9					9	9		9

Преимущества и недостатки полимеризации с обратимой передачей цепи по механизму присоединения–фрагментации. Полимеризация с обратимым переносом атома, ее механизм и стадии. Преимущества и недостатки полимеризации с обратимым переносом атома, ее использование. Полимеризация с использованием нитроксидов, ее механизм и стадии. Алкоксиамины. Типичные нитроксильные радикалы. Преимущества и недостатки полимеризации с использованием нитроксидов, ее применение.)										
Тема 3. Поликонденсация (Реакции конденсации в органической химии. Условие получения полимерных цепей в реакциях конденсации. Понятие о функциональности молекул. Реакции этерификации и полиэтерификации. Гомо- и гетерополиконденсация. Обратимая и необратимая поликонденсация. Использование катализаторов. Стадии поликонденсации. Зависимость степени полимеризации от глубины превращения. Типы реакций прекращения образования макромолекул при	14	7					7	7		7

поликонденсации. Циклообразование и способы уменьшения доли циклических макромолекул. Причины низких степеней полимеризации макромолекул, образованных в результате поликонденсации.)										
Тема 4. Особенности основных классов полимерных материалов (Физические состояния полимеров и классы полимерных материалов. Пластмассы и их основные свойства. Примеры наиболее широко используемых пластмасс. Эластомеры и их основные свойства. Природные и синтетические эластомеры. Примеры наиболее широко используемых эластомеров. Волокна и их основные свойства. Биомиметический подход к дизайну волокон. Классификация волокон. Примеры наиболее широко используемых волокон. Полимерные пленки и их основные свойства. Использование полимерных пленок.)	11	4					4	7		7
Тема 5. Конформационное поведение одиночных полимерных цепей в разбавленных растворах	10	5					5	5		5

(Механизмы гибкости полимерных цепей. Сегмент Куна и персистентная длина. Идеальная полимерная цепь, стандартная модель макромолекулы. Понятие хорошего, тета- и плохого растворителя. Набухание и коллапс полимерной цепи с объемными взаимодействиями. Теория самосогласованного поля для описания зависимости размера полимерной цепи от ее длины (по методу Флори).										
Тема 6. Полуразбавленные полимерные растворы и расплавы (Основные понятия. Теория самосогласованного поля полимерных растворов и расплавов. Скейлинговая теория полимерных растворов. Зависимости осмотического давления, корреляционной длины и размера одиночной цепи от концентрации полимера в растворе. Диаграмма состояний полимерного раствора. Фазовое расслоение полимерных расплавов в плохом растворителе).	9	2	2				4	5		5
Тема 8. Особенности поведения полимеров со сложной архитектурой	8	2	2				4	4		4

(Регулярно разветвленные полимеры: гребнеобразные макромолекулы, полимерные звезды, дендримеры. Случайно разветвленные макромолекулы. Сополимеры. Самоорганизация блок-сополимеров в растворах и расплавах. Морфология и размер мицелл, образованных диблок-сополимером. Привитые полимерные слои различной геометрии).										
Тема 9. Полиэлектролиты (Основные понятия теории полиэлектролитных систем. Сильно и слабо заряженные полиэлектролиты. Влияния ионной ассоциации на поведение полиэлектролитных цепей и полиэлектролитных гелей. Микрофазное расслоение в полиэлектролитах.)	8	2	2				4	4		4
Тема 10. Динамика полимерных жидкостей (Вязкость разбавленных растворов полимеров. Характеристическая вязкость. Гидродинамические взаимодействия. Свойство вязкоупругости. Основы теории рептаций. Вязкость полимерного расплава в теории рептаций. Гель-электрофорез и гель-	8	2	2				4	4		4

<i>проникающая хроматография).</i>										
Промежуточная аттестация: допуск к кандидатскому экзамену	4					4				
Итого	108	42	8			4	54	54		54

8. Образовательные технологии

Используемые формы и методы обучения: лекции и семинарские занятия, самостоятельная работа аспирантов.

В процессе преподавания дисциплины преподаватель использует как классические формы и методы обучения (лекции и семинарские занятия), так и активные методы обучения.

При проведении лекционных занятий преподаватель использует при необходимости аудиовизуальные, компьютерные и мультимедийные средства обучения, а также демонстрационные и наглядно-иллюстрационные (в том числе раздаточные) материалы.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю): аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и задания для самостоятельной работы, презентации к лекционным занятиям.

10. Ресурсное обеспечение:

Основная литература:

1. Энциклопедия полимеров, тт. 1—3, гл. ред. В. А. Каргин. - М., 1972—1977.
2. <http://polly.phys.msu.ru/macrogalleria>
3. Семчиков Ю.Д. Высокомолекулярные соединения, многочисленные переиздания, например, Москва: Изд. центр "Академия", 2003.
4. Черникова Е.В. Природа, 2013, №8, с.3-12.
5. Гришин Д.Ф., Гришин И.Д. Современные методы контролируемой радикальной полимеризации для получения новых материалов с заданными свойствами. Электронное учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. - 48 с.
7. А.Р.Хохлов, С.И.Кучанов. Лекции по физической химии полимеров. М., "Мир", 2000.
8. А.Ю.Гроссберг, А.Р.Хохлов. Физика в мире полимеров. М., "Наука", 1989.
9. Л.Трилер. Введение в науку о полимерах. М., "Мир", 1973.
10. М.Д.Франк-Каменецкий. Самая главная молекула. М., "Наука", 1988.

Дополнительная литература:

1. В.В.Киреев. Высокомолекулярные соединения. М., "Высшая школа", 1992.
2. А.А.Тагер. Физико-химия полимеров. М., "Химия", 1978.
3. Israelachvili, J.N. Intermolecular and Surface Forces, Academic Press: London. 1985.

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели:

1. Д.ф.-м.н., профессор Филиппова О.Е., e-mail: phil@polly.phys.msu.ru, тел.: (495)939-1464;
2. Д.ф.-м.н., профессор Крамаренко Е.Ю., e-mail: kram@polly.phys.msu.ru, тел.: (495)939-4013.

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы домашних заданий:

1. Вычислить структурный фактор идеальной полимерной цепи с числом звеньев N.
2. Вычислить радиус инерции и гидродинамический радиус идеальной полимерной цепи с числом звеньев N.

3. Найти распределение концентрации звеньев идеальной полимерной цепи, помещенной в ящик с размерами L_x, L_y, L_z .
4. Найти выражение для вириальных коэффициентов взаимодействия звеньев полимерных цепей через параметры модели Флори-Хаггинса.
5. Найти равновесный размер полиэлектролитного геля с долей f заряженных звеньев в хорошем растворителе. Длина субцепи геля N .
6. Найти агрегационное число звездообразных мицелл, образованных диблок-сополимером в растворе в случае, когда длина N_a сегрегирующего А-блока намного меньше, чем длина N_b растворимого блока.
7. Написать реакции получения поливинилхлорида методом радикальной полимеризации, указав все четыре стадии.
7. Рассчитать степень полимеризации полимера, синтезированного «на живых цепях» в растворе, если известно количество мономера и инициатора. Указать при каких условиях верен расчет.
8. Оценить степень полимеризации полимера, синтезированного методом поликонденсации, при известной глубине превращения.
9. Рассчитать среднюю длину субцепи сетки, если известна масса мономера и сшивателя, использованного при синтезе.

Вопросы для промежуточной аттестации – зачета:

1. Какие виды полимерных материалов Вам известны? Приведите по три примера каждого из материалов (химическая формула и название). В каком физическом состоянии находятся полимеры в каждом из этих материалов?
2. Напишите реакции сшивания натурального каучука.
3. Что такое RAFT полимеризация? Приведите основное равновесие RAFT-полимеризации. Сравните RAFT- и анионную полимеризацию.
4. Приведите пример реакции поликонденсации. В чем состоят особенности формы и длины макромолекул, синтезированных этим способом? В чем причина этих особенностей?
5. Какой механизм гибкости у полиэтилена $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$ и полиэтиленоксида $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-)_n$? Какой из этих полимеров обладает более высокой гибкостью и почему?
6. Какова физическая природа высокоэластичности полимеров?
7. Как зависит осмотическое давление разбавленного и полуразбавленного полимерного раствора от его концентрации?
8. Дать определение персистентной длины и длины сегмента Куна. Каковы характерные значения персистентной длины гибкоцепных и жесткоцепных макромолекул?
9. Основные физические факторы, определяющие поведение полиэлектролитных гелей. Применение полиэлектролитных гелей.
10. Приведите качественный вид бинодали и спинодали смеси двух полимеров длины N_A и N_B в переменных ϕ_A (ϕ_A – параметр Флори-Хаггинса, ϕ_A – объемная доля полимера А в смеси) и координаты критической точки.
11. Как зависит толщина плоского привитого полимерного слоя от длины цепей?
12. Написать выражение для свободной энергии полимерной цепи, заключенной в сферическую полость диаметра D .
13. Что такое критическая концентрация мицеллообразования?
14. Как зависит коэффициент самодиффузии полимерной цепи в расплаве от ее длины в модели рептаций?
15. Напишите зависимость расстояния между концами цепи с исключенным объемом от величины растягивающей силы.

16. Как влияет реакция передачи цепи на полимер при радикальной полимеризации на среднюю молярную массу получающегося полимера и почему?
17. Как влияет диэлектрическая проницаемость растворителя на форму активного центра при катионной полимеризации?
18. Каковы условия проведения анионной полимеризации «на живых цепях»?
19. Как получают стереорегулярные полимеры?
20. В каких случаях химическая модификация является единственным способом получения полимеров? Приведите три примера.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет проходит по билетам, включающим 3 вопроса. Уровень знаний аспиранта по каждому вопросу на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». В случае если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено».

Шкала оценивания знаний, умений и навыков

Результат освоения дисциплины	Критерии оценивания знаний, умений и навыков			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
Знания	Отсутствие знаний основных законов физики и химии высокомолекулярных соединений	В целом успешные, но не систематические знания основных законов физики и химии высокомолекулярных соединений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных законов физики и химии высокомолекулярных соединений	Успешные и систематические знания основных законов физики и химии высокомолекулярных соединений
Умения	Отсутствие умения применять знания основных законов физики и химии высокомолекулярных соединений для решения научных задач	В целом успешное, но не систематическое применение знания основных законов физики и химии высокомолекулярных соединений для решения научных задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания основных законов физики и химии высокомолекулярных соединений для решения научных задач	Успешное и систематическое умение применять знания основных законов физики и химии высокомолекулярных соединений для решения научных задач
Навыки	Отсутствие/фрагментарное владение навыками решения научных задач в области физики и химии высокомолекулярных соединений	В целом успешное, но не систематическое владение навыками решения научных задач в области физики и химии высокомолекулярных соединений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками решения научных задач в области физики и химии высокомолекулярных соединений	Успешное и систематическое владение навыками решения научных задач в области физики и химии высокомолекулярных соединений